



Penyisihan Kandungan Padatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit

Adrianto Ahmad, Bahrudin, Aulia Rahmi

Laboratorium Rekayasa Bioproses Jurusan Teknik Kimia-Universitas Riau
Jl. HR Subrantas Km 12,5Kampus Bina Widya Panam Pekanbaru 28293
Email : adri@unri.ac.id

Abstract

The negative impacts of the development of the palm oil industrial is increasing palm oil mill wastewater which contained high ranging total suspended solid (TSS) between 1330-50700 mg/L. Previously researchers has use much methods to reduce levels of TSS, but so far can not be implemented effectively. The purpose of this study was to assess and determine the level of impairment solid content of palm oil mill wastewater in anaerobic hybrid bioreactor with palm shell a growth media. Anaerobic hybrid bioreactor is a combination between the suspended growth system and attached growth system which use palm shells as a medium for cell immobilization. This research method involves bioreactor start-ups, operational processes and analysis which covered solids content of TS, TVS, TSS and VSS. Process variables which measured were feed flow rate 2.3 L/day, 2.8 L/day, 3.8 L/day, 5.7 L/day and 11.34 L/day. The results of this study indicated that the feed flow rate of 2.3, 2.8, 3.8, 5.7 and 11.34 L/day allowance TSS efficiency of 74.57%, 82.78%, 71.67%; 67.72% and 64.2%. The maximum efficiency is 82.78% allowance for TSS was obtained at a feed flow rate of 2.8 L / day. These results indicate that anaerobic hybrid bioreactor system with palm shell as the media is good enough to put aside the matter content in palm oil mill wastewater.

Keywords : anaerobic, hybrid bioreactor, palm shell, palm oil mill wastewater, solids content provision

Pendahuluan

Perkembangan industri minyak sawit dalam beberapa tahun terakhir mengalami pertumbuhan yang sangat pesat sehingga menimbulkan dampak positif dan dampak negatif bagi masyarakat. Dampak positif yaitu meningkatkan devisa negara dan kesejahteraan masyarakat, sedangkan dampak negatif yaitu menimbulkan limbah. Limbah merupakan kotoran atau buangan yang dihasilkan dari proses pengolahan. Limbah dapat digolongkan menjadi tiga macam, yaitu limbah cair, limbah padat, dan limbah gas. Limbah cair pabrik kelapa sawit umumnya bersuhu tinggi, berwarna kecoklatan, mengandung padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan COD yang tinggi. Bila limbah cair tersebut langsung dibuang ke perairan sangat berpotensi mencemari lingkungan, sehingga harus diolah terlebih dahulu sebelum dibuang.

Karakteristik limbah cair pabrik minyak sawit berupa padatan memiliki parameter yang melebihi kadar maksimum baku mutu limbah yang ditentukan oleh pemerintah yaitu konsentrasi

padatan total tersuspensi (TSS) yang dihasilkan berkisar 1.330 – 50.700 mg/L. Sementara itu baku mutu yang ditetapkan pemerintah RI melalui KEPMEN Lingkungan Hidup No.51 tahun 1995 untuk harga TSS senilai 250 mg/L. Oleh karena itu, perlu dilakukan pengolahan terhadap limbah cair pabrik minyak sawit dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit. Bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan merupakan penggabungan antara sistem pertumbuhan mikroorganisme tersuspensi dan pertumbuhan melekat. Pada sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*), mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi didalam fasa cair. Sedangkan didalam sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*), mikroorganisme tumbuh dan berkembang melekat diatas media pendukung dengan membentuk lapisan *biofilm* (Ahmad, 2009).

Peneliti sebelumnya melaporkan bahwa besarnya efisiensi penyisihan padatan dengan menggunakan bioreaktor hibrid anaerob yang bermedia batu dalam pengolahan limbah cair yang mengandung molase adalah sebesar 80% (Syafila *et*

al, 2003). Peneliti Nevolindo (2010), melaporkan bahwa penggunaan bioreaktor hibrid anaerob bermedia pelepah sawit dan tandan kosong sawit didapatkan besarnya penyisihan TSS sebesar 81,91% dan 80,54%. Selain itu, peneliti Febyanti (2010) mengolah limbah cair PKS menggunakan bioreaktor hibrid anaerob bermedia batu memperoleh efisiensi penyisihan TSS sebesar 51,66%.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengkaji dan menetapkan tingkat penurunan kadar padatan limbah cair pabrik minyak sawit meliputi TS, TSS, TVS, dan VSS dalam bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit.

Landasan Teori

Limbah cair umumnya berwarna kecoklatan, terdiri dari padatan terlarut dan tersuspensi berupa koloid dan residu minyak dengan kandungan COD tinggi, bersifat asam (pH nya 3,5 - 4), terdiri dari 95% air, 4-5% bahan-bahan terlarut dan tersuspensi dan 0,5-1% residu minyak yang sebagian besar berupa emulsi. Kandungan TSS limbah cair industri minyak sawit tinggi sekitar 1.330 – 50.700 mg/L. Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair industri minyak sawit mengandung bahan-bahan organik yang tinggi dan jika dibuang ke badan air penerima akan mengakibatkan penurunan kualitas perairan dan lingkungan.

Pengolahan limbah secara anaerob merupakan proses degradasi senyawa organik seperti karbohidrat, protein dan lemak yang terdapat dalam limbah cair oleh bakteri anaerob tanpa kehadiran oksigen menjadi biogas yang terdiri dari CH₄ (50-70%) dan CO₂ (25-45%), serta N₂, H₂, H₂S dalam jumlah kecil. Ciri khas proses anaerob adalah terbentuknya gas metana dan CO₂ yang disebut sebagai biogas.

Dalam mengantisipasi permasalahan lingkungan berupa pencemaran air oleh limbah cair industri minyak sawit perlu diupayakan sistem pengolahan air limbah yang handal dan kompak. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan pemanfaatan bioreaktor hibrid anaerob yang menggunakan media padat sebagai media melekatnya mikroorganisme dan sebagai tempat mikroorganisme beraktivitas. Bioreaktor hibrid anaerob merupakan penggabungan antara sistem pertumbuhan tersuspensi (*suspended growth*) dan sistem pertumbuhan melekat (*attached growth*), anaerobik filter. Sistem pertumbuhan tersuspensi adalah sistem pertumbuhan dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang dalam keadaan tersuspensi di dalam fasa cair, sedangkan sistem pertumbuhan melekat dimana mikroorganisme tumbuh dan berkembang melekat di atas media pendukung dengan membentuk lapisan biomassa (Ahmad, 2009). Pada sistem

pertumbuhan tersuspensi diharapkan dapat berlangsung proses asidogenesis, sedangkan pada pertumbuhan melekat diharapkan berlangsung proses metanogenesis.

Bioreaktor hibrid anaerob menggunakan dua buah penyekat. Penyekat-penyekat dipasang secara vertikal agar aliran limbah cair yang masuk dari bagian atas mengalir sesuai dengan bentuk pola aliran di dalam ruang penyekat. Sehingga mikroorganisme akan bergerak secara perlahan ke arah horizontal sehingga terjadi kontak antara biomassa aktif dengan limbah cair yang akan dimasukkan.

Setelah melewati dua buah penyekat, selanjutnya mikroorganisme akan tumbuh dan berkembang melekat di atas media pendukung (cangkang sawit) dan membentuk lapisan biomassa. Biomassa yang tumbuh akan terimobilisasi pada cangkang sawit dengan cara menempel pada permukaan cangkang. Untuk memperoleh konsentrasi biomassa yang tinggi maka cangkang harus mempunyai diameter yang kecil dan seragam. Tetapi cangkang yang digunakan jangan terlalu kecil karena akan mengakibatkan penyumbatan pada sistem. Ketebalan lapisan biomassa yang menyelimuti cangkang menunjukkan besarnya konsentrasi mikroorganisme yang kontak dengan limbah cair (substrat).

Diharapkan dengan penggabungan kedua sistem pertumbuhan mikroorganisme ini, akan diperoleh hasil yang lebih maksimal. Konsentrasi biomassa tinggi dan efisiensi penyisihan padatan total yang tinggi.

Padatan didalam limbah cair minyak sawit pada umumnya terdiri dari senyawa organik seperti selulosa, lemak, protein dan juga bisa merupakan mikroorganisme seperti bakteri dan alga yang tersuspensi didalam limbah cair tersebut. Selain senyawa organik, limbah cair juga mengandung senyawa anorganik seperti pasir halus dan lumpur alami yang sulit terurai oleh mikroorganisme. Padatan ini akan membentuk endapan yang akan terdekomposisi sehingga oksigen terlarut di perairan akan menurun. Endapan ini menyebabkan penetrasi cahaya matahari ke permukaan tidak berlangsung efektif, sehingga fotosintesis tidak berlangsung sempurna. Yang pada akhirnya akan mengganggu ekosistem perairan.

Secara umum padatan didalam limbah cair kelapa sawit terdiri dari beberapa macam, antara lain:

1. Padatan total (*total solid*)
2. Padatan total tersuspensi (*total suspended solid*)
3. Padatan total terlarut (*total dissolved solid*)
4. Padatan volatil total (*total volatile solid*)

5. Padatan volatil tersuspensi (*volatile suspended solid*)

Metode penelitian

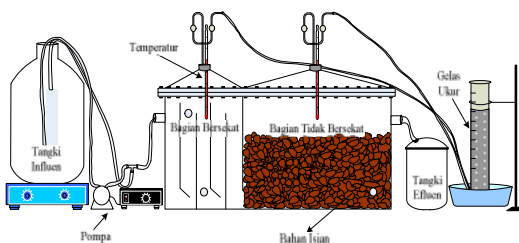
Metoda penelitian yang diuraikan di bawah ini mencakup karakteristik limbah cair, bioreaktor hibrid anaerob, proses kontinu bioreaktor serta parameter yang diamati serta metoda analisa.

Karakteristik Limbah Cair. Limbah cair yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari limbah cair pabrik minyak sawit PTPN V Sei.Pagar dengan karakteristik seperti ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik Limbah Cair Minyak Sawit PTPN V Sei. Pagar

Parameter	Satuan	Nilai
pH	-	5,6
Total Solid (TS)	gr/L	11,6
Total Suspended Solid (TSS)	gr/L	5
Total Volatile Solid (TVS)	gr/L	2,56
Volatile Suspended Solid (VSS)	gr/L	2,24

Bioreaktor Hibrid Anaerob. Bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai volume kerja 11,34 L. Bioreaktor terdiri dari 2 pola pertumbuhan, tersuspensi dibagian bersekat dengan volume 4,6 L dan pertumbuhan melekat menggunakan cangkang sawit sebagai media imobilisasi sel dengan volume 6,74 L. Media padat tempat melekat mikroorganisme diisikan sebanyak $\frac{3}{4}$ tinggi cairan sampai tinggi cairan sama dengan bagian tersuspensi Rancangan bioreaktor hibrid anaerob secara rinci ditampilkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian Peralatan Pengolahan Limbah Cair

Dari Gambar 1 di atas menunjukkan bahwa penyekat-penyekat dipasang secara vertikal memaksa agar aliran limbah cair yang masuk dari bagian atas mengalir sesuai dengan bentuk pola aliran di dalam ruang. Perjalanan aliran limbah cair

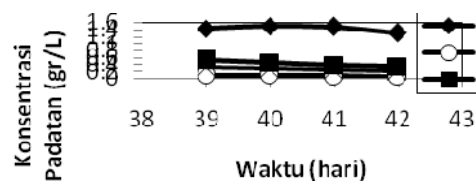
tersebut kembali memaksa melewati bagian atas penyekat dan begitu seterusnya sehingga mengalir keluar dari bioreaktor. Bakteri anaerob di dalam bioreaktor cenderung terangkat dan terendapkan kembali akibat terbentuk biogas selama proses biokonversi secara anaerob. Kemudian sampel akan keluar menuju tangki effluen.

Proses Kontinu. Setelah keadaan tunak tercapai, tahap selanjutnya yaitu bioreaktor diberikan pembebanan yang berbeda-beda dengan mengatur laju alir yang berbeda-beda pula. Laju alir yang diberikan adalah 2,3 L/hari, 2,8 L/hari, 3,8 L/hari, 5,7 L/ hari, dan 11,34 L/ hari. Proses operasional ini bertujuan untuk melihat pengaruh laju alir terhadap bioreaktor. Penambahan laju alir ini mengakibatkan semakin tingginya pembebanan organik terhadap bioreaktor, dengan nilai pembebanan organik tertentu, bioreaktor dapat bekerja atau tidak dan hasil pengolahannya baik atau tidak. Selain itu, pembebanan bertujuan untuk memberikan pasokan makanan bagi bakteri (mikroba) anaerob sebagai nutrisi untuk pertumbuhan. Hal ini menyebabkan degradasi semakin baik. Setiap laju alir yang diberikan, dilakukan *sampling* effluen bioreaktor sebanyak 400 ml untuk mengukur kandungan padatnya. Analisa padatan dilakukan sesuai dengan *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA & WPCF, 1992).

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengamatan selama dilakukannya variasi laju alir pada bioreaktor hibrid anaerob ditampilkan dengan melihat hubungan antara waktu *start-up* terhadap konsentrasi padatan dan hubungan antara laju alir umpan terhadap konsentrasi padatan pada bioreaktor serta hubungan antara laju alir umpan terhadap efisiensi kandungan padatan pada bioreaktor.

Konsentrasi Padatan pada Keadaan Tunak. Konsentrasi padatan pada keadaan tunak dapat dilihat pada Gambar 2.

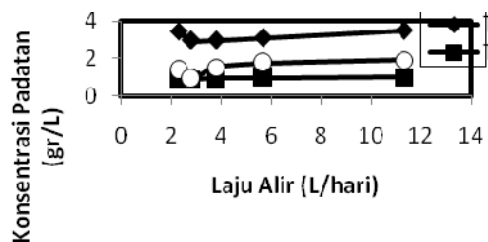


Gambar 2. Konsentrasi Padatan pada Keadaan Tunak

Dari Gambar 2 diatas menunjukkan bahwa pada hari ke-39 konsentrasi TS, TVS, TSS dan

VSS yaitu 1,42 gr/L; 0,09 gr/L; 0,53 gr/L dan 0,31 gr/L. Pada hari ke-40 konsentrasi TS mengalami kenaikan yaitu 1,5 gr/L dan TVS tetap dengan konsentrasi 0,09 gr/L, sedangkan untuk TSS dan VSS mengalami penurunan yaitu 0,45 gr/L dan 0,28 gr/L. Pada hari ke-41 dan ke-42 konsentrasi TS, TVS, TSS dan VSS semakin mengalami penurunan. Penurunan konsentrasi padatan tersebut adalah pertanda bahwa konsentrasi mikroorganisme telah meningkat di dalam sistem dan dapat menguraikan senyawa organik yang ada di dalam limbah cair (Ahmad dkk, 2000).

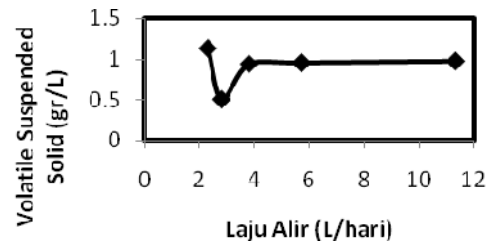
Pengaruh Laju Alir terhadap Konsentrasi Padatan Selama Proses Kontinu. Proses kontinu bioreaktor hibrid anaerob dilakukan dengan variasi laju alir umpan. Laju alir yang diberikan adalah 2,3 L/hari, 2,8 L/hari, 3,8 L/hari, 5,7 L/hari dan 10 L/hari. Pengaruh laju alir umpan terhadap konsentrasi padatan pada kondisi *steady state* ditampilkan dalam Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh Laju Alir Umpan Terhadap Konsentrasi Padatan Selama Proses Kontinu

Gambar 3 menunjukkan bahwa hubungan antara konsentrasi padatan terhadap laju alir umpan. Semakin besar laju alir umpan yang dialirkan ke bioreaktor, maka konsentrasi padatan cenderung akan semakin besar. Konsentrasi TS, TSS dan TVS pada laju alir 2,3 L/hari adalah sebesar 3,47 gr/L, 1,37 gr/L dan 0,91 gr/L. Pada laju alir 2,8 L/hari, nilai TS, TSS dan TVS adalah sebesar 2,97 gr/L, 0,93 gr/L, dan 0,89 gr/L. Pada laju alir 3,8 L/hari, nilai TS, TSS dan TVS adalah 3,00 gr/L, 1,53 gr/L, dan 0,94 gr/L. Pada laju alir 5,7 L/hari, nilai TS, TSS dan TVS adalah 3,11 gr/L, 1,74 gr/L, dan 0,97 gr/L. Dan pada laju alir 11,3 L/hari, nilai TS, TSS dan TVS mencapai 3,52 gr/L, 1,93 gr/L dan 1,03 gr/L. Hal ini membuktikan bahwa semakin rendah laju alir maka proses biodegradasi bahan-bahan organik yang terdapat di dalam limbah berlangsung baik, karena kontak antara mikroorganisme dengan limbah berlangsung cukup lama (Nugrahini, 2008).

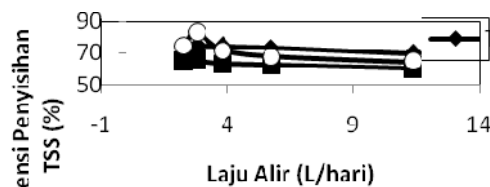
Konsentrasi Biomassa Anaerob Pada Proses Kontinu. Konsentrasi biomassa di dalam sistem bioreaktor diukur sebagai padatan volatil tersuspensi (VSS) yang terdapat di dalam bioreaktor dan substrat (Ahmad, 2000). Hubungan konsentrasi biomassa terhadap laju alir dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara Laju Alir Umpan Terhadap Konsentrasi Biomassa di dalam Sistem

Gambar 4 menunjukkan bahwa konsentrasi biomassa yang terbawa keluar menurun pada laju alir 2,8 L/hari kemudian meningkat seiring dengan peningkatan laju alir umpan dalam bioreaktor. Gambar tersebut menunjukkan bahwa pada laju alir 2,3 L/hari diperoleh konsentrasi VSS sebesar 1,13 gr/L. Pada laju alir 2,8 L/hari diperoleh nilai VSS sebesar 0,51 gr/L. Pada laju alir 3,8 L/hari diperoleh VSS sebesar 0,94 gr/L. Pada laju alir 5,7 L/hari diperoleh VSS sebesar 0,95 gr/L dan pada laju alir 11,3 L/hari diperoleh VSS sebesar 0,97 gr/L. Secara keseluruhan konsentrasi biomassa yang terbawa keluar semakin meningkat ketika laju alir umpan diperbesar dan itu menunjukkan bahwa kehilangan biomassa semakin meningkat karena pada saat laju alir umpan semakin besar maka pola aliran di dalam sistem akan menjadi turbulen sehingga dapat menghanyutkan padatan biomassa keluar dari sistem (Ahmad, 1999). Efisiensi penyisihan VSS terbesar pada laju alir 2,8 L/hari yaitu sebesar 77,38%. Tingginya efisiensi penyisihan VSS tersebut menunjukkan bahwa hanya sedikit konsentrasi biomassa yang mengalami *wash-out* dari sistem dan hal itu menunjukkan bahwa bioreaktor hibrid anaerob sangat baik dalam mempertahankan konsentrasi biomassa yang ada di dalam sistem.

Efisiensi Penyisihan Padatan. Hubungan antara laju alir umpan terhadap efisiensi penyisihan padatan dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan antara Laju Alir Umpan terhadap Efisiensi Penyisihan Kandungan Padatan pada Bioreaktor Hibrid Bermedia Cangkang Sawit

Gambar 5 di atas menunjukkan bahwa efisiensi konsentrasi padatan dengan laju alir 2,3 L/hari yaitu sebesar 70,11% untuk TS, 74,57% untuk TSS, dan TVS sebesar 64,41% dan pada laju alir umpan sebesar 2,8 L/hari diperoleh efisiensi penyisihan konsentrasi padatan yang paling tinggi yaitu sebesar 74,37% untuk TS, 82,78% untuk TSS, dan TVS sebesar 65,19%. Gambar tersebut menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan kandungan padatan semakin menurun dengan peningkatan laju alir umpan. Efisiensi penyisihan konsentrasi padatan menunjukkan kemampuan biodegradasi senyawa organik oleh bakteri anaerob menjadi gas metana dan gas CO₂ (Ahmad, 1999). Efisiensi konsentrasi padatan dengan laju alir 3,8 L/hari yaitu sebesar 74,18% untuk TS, 71,67% untuk TSS, dan TVS sebesar 63,15%. Pada laju alir 5,7 L/hari efisiensi penyisihan konsentrasi padatan adalah sebesar 73,17% untuk TS, 67,72% untuk TSS, dan TVS sebesar 62,24%. Sedangkan efisiensi terendah dicapai ketika laju alir ditingkatkan menjadi 11,3 L/hari atau yaitu sebesar 69,68% untuk TS, 64,20% untuk TSS, dan TVS sebesar 59,94%.

Tingginya efisiensi penyisihan kandungan padatan disebabkan karena laju alir umpan yang rendah sehingga mikroorganisme memiliki waktu yang lebih lama untuk mendegradasi senyawa organik yang terkandung didalam limbah cair yang diolah, sedangkan pada laju alir yang tinggi, mikroorganisme tidak mendapatkan waktu yang cukup untuk mencerna senyawa organik yang merupakan nutrisi bagi mikroorganisme tersebut. Laju alir umpan yang tinggi akan menyebabkan kecepatan alir (*velocity*) semakin meningkat sehingga laju alir tersebut dapat mempengaruhi

turbulensi cairan di dalam bioreaktor. Turbulensi cairan ini akan memperkecil daya lekat padatan biomassa untuk media batu sehingga akan mendorong padatan biomassa ke atas dan keluar terbawa oleh aliran (Ahmad, 1999).

Studi Komparatif Efisiensi Penyisihan Padatan dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob. Studi komparatif ditinjau dengan membandingkan efisiensi penyisihan padatan dengan menggunakan bioreaktor yang sama yakni hibrid anaerob namun berbeda media melekat dalam mengolah limbah cair industri sawit. Perbandingan efisiensi penyisihan padatan disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Efisiensi Penyisihan Padatan Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Imobilisasi Lainnya

Media Imobilisasi	Efisiensi Penyisihan Padatan (%)		Pustaka
	TSS	VSS	
Batu	51,66	76,79	Febyanti (2010)
Pelepah Sawit	81,91	80,31	Nevolindo (2010)
Tandan Kosong Sawit	80,54	79,52	Nevolindo (2010)
Cangkang Sawit	82,78	77,38	Penelitian ini

Tabel 2. menunjukkan bahwa efisiensi penyisihan TSS tertinggi dengan bioreaktor hibrid anaerob sebesar 82,78% yakni dengan menggunakan cangkang sawit sebagai media imobilisasi. Hal ini menunjukkan bahwa cangkang sawit baik digunakan sebagai media melekatnya mikroorganisme dalam bioreaktor hibrid anaerob karena cangkang sawit memiliki tingkat kekasaran yang cukup baik dan merupakan bagian yang paling keras pada komponen yang terdapat pada kelapa sawit. Sedangkan efisiensi VSS tertinggi dengan bioreaktor hibrid anaerob sebesar 80,31% yakni dengan menggunakan pelepah sawit sebagai media imobilisasi. Ini menunjukkan bahwa bioreaktor hibrid anaerob bermedia pelepah sawit memiliki kelebihan dalam mempertahankan konsentrasi biomassa dalam jumlah yang tinggi dibandingkan dengan bioreaktor hibrid anaerob dengan menggunakan media yang lain.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Pada kondisi tunak konsentrasi padatan total (TS), TVS, TSS dan VSS cenderung menurun. Hal ini disebabkan karena kandungan padatan yang berasal dari limbah cair telah didegradasi oleh bakteri anaerob membentuk biogas, sehingga konsentrasi padatan yang keluar dari effluen menjadi rendah.
2. Kehilangan biomassa meningkat seiring dengan peningkatan laju alir umpan dalam bioreaktor yaitu sebesar 0,97 gr/L pada laju alir umpan 11,3 L/hari.
3. Laju alir umpan akan mempengaruhi efisiensi penyisihan kandungan padatan dalam limbah cair. Semakin tinggi laju alir umpan atau tingginya pembebanan organik dalam bioreaktor hibrid anaerob yang digunakan, maka efisiensi penyisihan kandungan padatan dalam limbah cair akan semakin menurun.
4. Efisiensi penyisihan konsentrasi padatan terbesar dicapai pada laju alir 2,8 L/hari dengan nilai TS sebesar 74,73%, TSS sebesar 82,78% dan TVS sebesar 65,19%.
5. Sistem bioreaktor hibrid anaerob bermedia cangkang sawit dapat mendegradasi senyawa organik yang relatif tinggi dengan efisiensi penyisihan TSS sebesar 82,78%.

Ucapan terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Pemerintah Republik Indonesia yang telah membiayai penelitian ini melalui Program Penelitian Unggulan Strategis Nasional Batch I Tahun 2010 dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian No. 163/SP2H/PP/DP2M/III/2010 tanggal 1 Maret 2010.

Daftar Pustaka

- Ahmad, A., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B. Liang. 1999. Bioreaktor Berpenyekat Anaerob untuk Pengolahan Limbah Industri yang Mengandung Minyak dan Lemak: Pengaruh Pembebanan Organik Terhadap Kinerja Bioreaktor. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Soehadi Reksowardojo 1999, TK-ITB, Bandung, 19-20 Oktober*.
- Ahmad, A., T. Setiadi, M. Syafila dan O.B. Liang. 2000. Bioreaktor Berpenyekat Anaerob untuk Pengolahan Limbah Industri yang Mengandung Minyak dan Lemak: Kajian Dinamik Bioreaktor dengan Pembebanan Organik Rendah, *Prosiding Seminar Nasional Rekayasa Kimia dan Proses, FT-Universitas Diponegoro, Semarang, 26-27 Juli*.
- Ahmad, A., 2009, *Dasar-dasar Teknologi Pengolahan Limbah Cair Industri*, Unri Press, Pekanbaru.
- APHA, AWWA & WPCF, 1992, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association, Washington DC.
- Febyanti, A., 2010, Pengaruh Laju Alir Umpan Terhadap Penyisihan Kandungan Padatan Limbah Cair Industri Minyak Sawit dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Batu, *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Riau, Riau*.
- Keputusan Menteri KLH Nomor KEP 51/MEN KLH/10/1995 tentang *Baku Mutu Limbah Cair bagi Kegiatan Industri*.
- Nevolindo, R., 2010, Uji Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Tandan Kosong dan Pelepah Sawit dalam Menyisihkan Kandungan Padatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit, *Prosiding Seminar Nasional Fakultas Teknik Universitas Riau, Riau*.
- Nugrahini, P., 2008, Penentuan Parameter Kinetika Proses Anaerobik Campuran Limbah Cair Industri Menggunakan Reaktor UASB, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, Universitas Lampung*.
- Syafila M., A. H. Djajadiningrat, M. Handajani, 2003, Kinerja Bioreaktor Hibrid Anaerob dengan Media Batu untuk Pengolahan Air Buangan yang Mengandung Molase, *Prosiding ITB Sains & Tek. Vol. 35 A, No. 1, hal 19-31*.